分岐器全体ＰＣまくらぎの開発

○［土］楠田　将之　　［土］住吉　賢治　　［土］山口　義信（ＪＲ西日本）

Research and Development of All Pre-stressed Concrete Sleeper for Turnout

○ Masanobu Kusuda, Kenji Sumiyoshi, Yoshinobu Yamaguchi,
(West Japan Railway Company)

Turnout is one of the parts that we have to maintain often, so we need extension of maintenance period and sleeper life. First, we have replaced wooden with pre-stressed concrete sleeper at point section since 1999 and next at lead and frog section since 2004, at West Japan Railway Company. A long pre-stressed concrete sleeper is very heavy, so we develop a "divided sleeper" that is composed of two pre-stressed sleepers which have each one steel plate. And we designed sleepers where the gigantic load is often generated, by presuming the size of the load and the support condition of sleepers.

キーワード：分岐器PCまくらぎ，限界状態設計法，分割まくらぎ，著大荷重
Key Words：All pre-stressed concrete sleeper for turnout, Limit state design, Divided sleeper , Gigantic Load

1．はじめに

ＪＲ西日本では，軌道弱点箇所の１つである分岐器において保守周期延伸およびまくらぎの寿命延伸を目的に，平成 11 年度から在来線を対象にポイント部ＰＣまくらぎ化を進めてきており，続いてリード部・クロッシング部のＰＣまくらぎ化に取組んできたところである[1)2)]．

本論文では，リード部・クロッシング部のＰＣまくらぎ化についてのこれまでの検討内容を取りまとめ，振り返りを行うとともに，課題の整理および今後の方向性について報告するものである．

2．リード部，クロッシング部の設計

2.1 計算モデル

リード部，クロッシング部においては，一般区間およびポイント部とは異なり，長いまくらぎ上に４本のレールが配置されることとなる．そのため，従来の PC まくらぎの設計手法の適用は困難であると判断し，新たな知見を活用して[3)]，三次元の有限要素法に基づきまくらぎに加わる曲げモーメントを求めることとした．具体的には，まくらぎに発生する曲げモーメントを，分岐器および道床バラストを三次元の有限要素に分割し，これに連行移動荷重列を載荷するモデルにより算出した．解析で使用した有限要素モデルの概要を図１に，モデルに用いたパラメータを表１に示す．ここで，軌道パッドばね定数は 100MN/m とし，道床・路盤ばね定数は道床ばね 200MN/m と，路盤ばねをK_{30}値 0.11N/mm^3（11kgf/cm^3）としたときの合成ばね定数として，まくらぎ全面に配置させた．なお，レールはロングレールと仮定した．

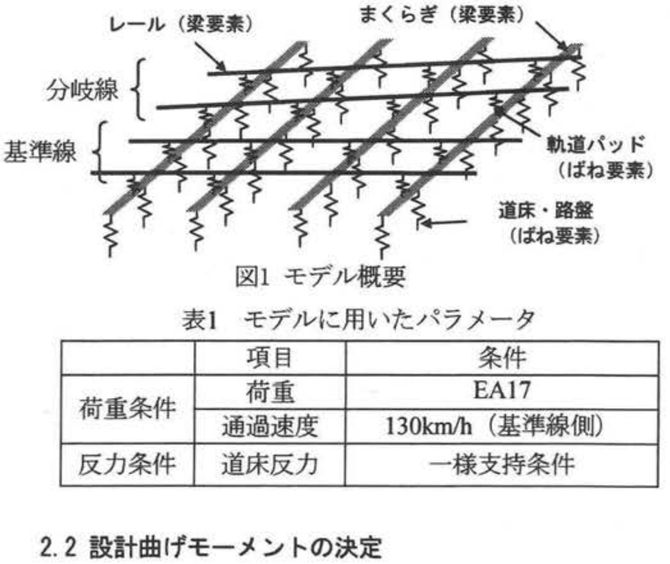

図1 モデル概要

表1　モデルに用いたパラメータ

	項目	条件
荷重条件	荷重	EA17
	通過速度	130km/h（基準線側）
反力条件	道床反力	一様支持条件

2.2 設計曲げモーメントの決定

この条件により計算すると，まくらぎごとに異なる曲げモーメントが得られる．そこで，設計に用いる曲げモーメントは，リード部，クロッシング部の全てのまくらぎに発生する曲げモーメントの最大値を用いることとし，その２倍をひび割れ耐力照査用の曲げモーメント，その５倍を破壊耐力照査用の曲げモーメントとした．

2.3 まくらぎの設計

まくらぎは，**2.2** 節で述べた，ひび割れ耐力照査用の曲げモーメントを与えた場合においてもフルプレストレスと

なるように設計した．まくらぎ断面は従来法と同じく許容応力度法により行い，まくらぎ断面形状およびＰＣ鋼材の本数，配置を決定した．

3．まくらぎの強度確認

3.1 試験方法

前2章の考え方で設計したPCまくらぎを製作し，設計強度との比較を行った．試験では図2に示すように4点曲げによりまくらぎ全体に曲げモーメントを与えた．そこで，設計に用いたひび割れ耐力照査用の曲げモーメントを与えたときの状態確認，およびまくらぎ破壊時に与えた曲げモーメントと破壊耐力照査曲げモーメントの照査を行った．

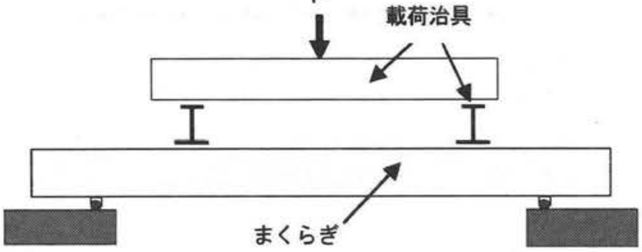

図2　強度確認試験の載荷方法

3.2　ひびわれ耐力の確認

静的にひび割れ耐力照査用の曲げモーメントを与えたが，ひび割れ等の異常は見られなかった．また，この曲げモーメントを動的に200万回繰返し与えたが，ひび割れ等の損傷は発生しなかった．

3.3　破壊耐力の確認

疲労曲げ試験実施後，まくらぎが破壊に至るまで荷重を加え，ひび割れ発生時および破壊時の曲げモーメントを確認した．その結果は表2のとおりであり，ひび割れ発生時，破壊時いずれについても耐力照査用のモーメントより大きく，設計強度に対し，十分な強度を有するまくらぎが製造できることが確認された．

表2　強度確認試験結果（単位:N･m）

	ひび割れ発生曲げモーメント	破壊曲げモーメント
設計値	13.8	34.5
実測値	34.0	98.7

4．まくらぎの試験敷設

4.1 敷設箇所

前3章で述べたとおり分岐器用PCまくらぎの強度試験結果が良好であったことを受けて，本線試験敷設を行った．試験敷設箇所は高密度輸送線区で，かつ高速列車の走行する線区（年間通トン：4,700万トン）とし，対象とした分岐器は60kg高速用分岐器（形式：T60片12-351）である．

敷設時の写真を図3および図4に示す．

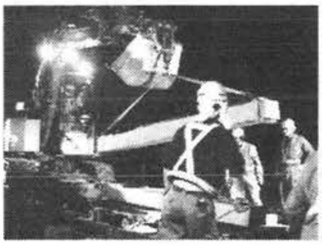

図3　吊上げ状況

図4　まくらぎ挿入

4.2　ＰＣまくらぎ化の効果の検証

分岐器のPCまくらぎ化による保守量低減効果を確認するため，道床振動加速度，まくらぎ応力の測定および，軌道狂いの推移を確認した．

(1) 道床振動加速度の測定

道床振動加速度の測定は，乗り移りの衝撃が大きい基準線側のクロッシング交点付近のまくらぎ2本（No45，46）のレール直下に埋設した加速度計を用いることにより行った．

測定結果は図5に示すとおりで，PCまくらぎ化により，貨物では平均で約4.2dB，電車では平均で約7.0dBの低減効果が確認された．

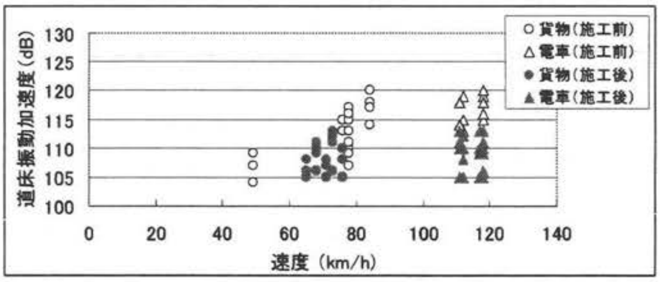

図5　道床振動加速度の測定結果

(2)　まくらぎ発生応力の確認

まくらぎ応力の測定は，長さ4.0mのまくらぎ（No59，60）を対象に，まくらぎ上面と下面に連続的にひずみゲージを貼り，基準線側，分岐線側をそれぞれ列車が通過する時のひずみを測定した．図6にひずみの測定位置図と，基準線側を機関車が通過しているときの発生応力および応力の計算値を示す．

測定値と計算値を比較すると若干ばらつきが見られるものの，圧縮側，引張側とも概ね計算値に近い測定値となっていることから，今回用いたまくらぎ設計の前提条件が概ね正しかったと考えられる．

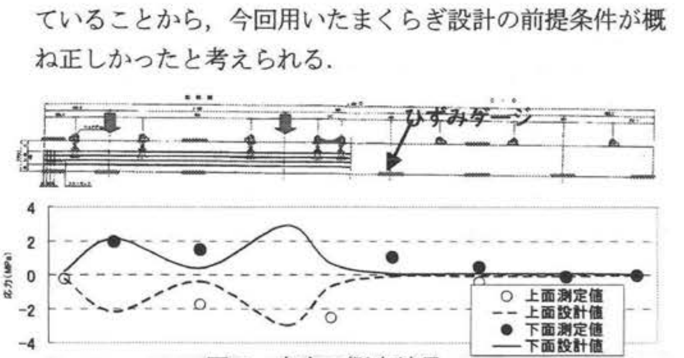

図6　応力の測定結果

(3)　軌道狂いの追跡

ＰＣまくらぎの試験敷設を行った前後における 10m 弦高低狂いの進み量を確認した．約半年間の追跡結果では，リード部，クロッシングにおいて，ＰＣまくらぎ化を行うことにより軌道狂い進みが約 16%低減していた．

なお，敷設後約４年が経過した現在においても，軌道状態は良好である．

５．継手タイプまくらぎの検討

5.1 継手タイプまくらぎの必要性

リード部およびクロッシング部のまくらぎは，一般区間用のＰＣまくらぎよりも長く重くなるため，ＰＣまくらぎ化は新設線などの施工条件の恵まれた箇所のみに限定されるという課題があった．そこで，PCまくらぎ同士を現場で連結して使用する継手タイプまくらぎを開発し，施工性の向上を図ることとした．

5.2 構造の検討

構造は，ポストテンション方式のPCまくらぎの片側の支圧板を連結板とし，２本のまくらぎを連結板で突合せて，ボルトで締結するものを提案した（図7）．

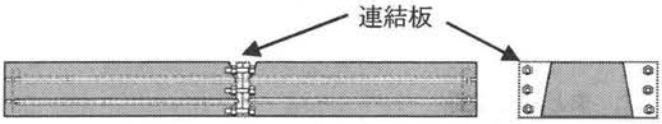

図7　継手まくらぎ（タイプB）

5.3 性能確認

(1)　確認内容

継手まくらぎの性能確認は，強度確認と，構造上懸念される電気絶縁性能と締結部の引抜き強度について行うこととした．

(2)　強度確認試験

まくらぎの強度確認は前３章と同じ方法により実施した．ひび割れ耐力照査用の曲げモーメントでは静的載荷時および200万回の動的載荷時いずれもひび割れ等の異常は見られず，破壊時の曲げモーメントは耐力照査用のモーメントより大きい値であった．結果を表３に示すとおりで，設計強度に対し，十分な強度を有する継手タイプまくらぎが製造できることが確認された．

表３　強度確認試験結果（単位：N･m）

	ひび割れ発生曲げモーメント	破壊曲げモーメント
設計値	13.8	34.5
実測値	34.0	98.7

(3)　電気絶縁抵抗試験

継手を構成する連結板と締結部であるパンドロールショルダーの最小離隔を決定する目的に，連結板からパンドロールショルダーまでの距離（L）を 50mm，100mm，150mm と３通り設定して電気絶縁抵抗試験を実施した．

試験方法は図８に示すとおりで，左右レール間に直流 25V を印加してレール～レール間の絶縁抵抗値を求めた．

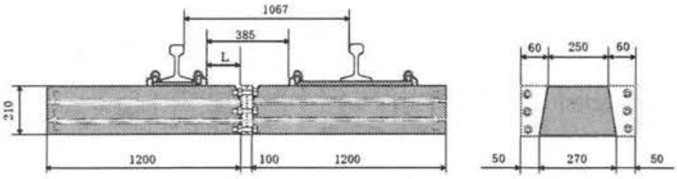

図８　電気絶縁抵抗試験方法

なお，環境条件は，降雨状態とし，時雨量 100mm 相当の水道水を噴霧した状態で試験を実施した．

試験結果を表４に示す．これらはいずれも在来線の軌道回路の漏れコンダクタンスの目標値から求められる抵抗値 3.5kΩを上回っており，距離Ｌが 50mm 以上離れていれば，必要な電気絶縁性が確保されることを確認した．

表４　電気絶縁抵抗試験結果（単位：kΩ）

L	散水状態	測定値
50mm	飽和状態	23.3
	散水停止１分後	46.7
100mm	飽和状態	15.7
	散水停止１分後	23.3
150mm	飽和状態	18.3
	散水停止１分後	48.7

(4)　パンドロールショルダーの引抜き試験

前(3)の試験条件と同様，連結板とパンドロールショルダーの端部の距離（L）を 50mm，100mm，150mm とする３通りで引抜き試験を実施した．

試験結果を表５に示す．いずれも，当社の PC まくらぎ仕様書で定めた 49.0kN を上回っており，距離 L が 50mm 以上離れていれば，所要の引抜き強度を有することを確認した．

表５　引抜き試験結果（単位：kN）

L	測定値	
	最大値	最小値
50mm	111.7	87.5
100mm	134.6	105.5
150mm	123.2	94.2

６．クロッシング部乗移り箇所のまくらぎ設計

6.1 検討目的

クロッシング乗移り部においては，座壊等により衝撃的な輪重が発生しやすい．加えて，クロッシング部直下はバラストつき固め作業が困難な箇所であることから，２章で用いた設計条件より厳しい条件での検討が必要であることが想定された．そこで，特にこの区間を対象にまくらぎの設計を行うこととした[4)]．対象としたまくらぎは図９に示すとおりで，クロッシング座壊の事例を踏まえクロッシング乗移り部付近の３本とした．

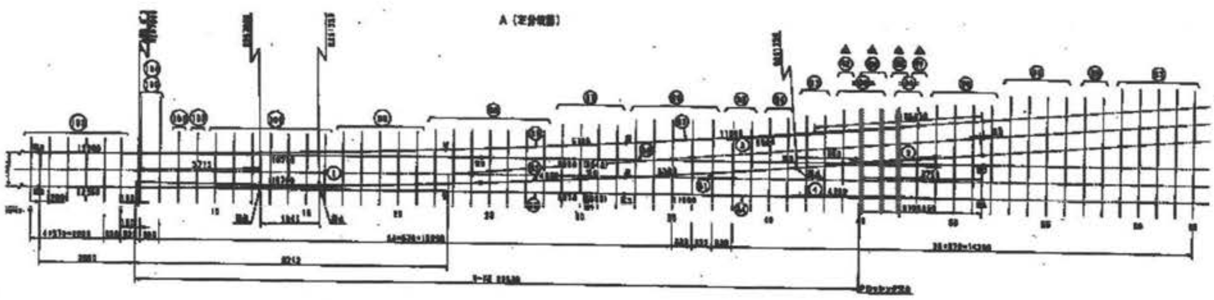

図9　対象としたまくらぎ（T60片12-351）

6.2　設計荷重の推定

クロッシング乗移り部に発生する衝撃荷重の測定を行うのが困難なため，在来線用技術試験車U@techを用いた軸箱振動加速度の測定結果および新連続法による輪重測定結果に基づき推定することとした．推定方法は以下の3法より求められた輪重の最大値である473.1kNを設計輪重とすることとした．

(1)　落込みの大きい箇所における軸箱振動加速度より推定

U@techで測定された軸箱振動加速度データ（サンプリング周波数3000Hz）より，最も厳しい荷重条件である，機関車が110km/hで走行する場合に発生する動的輪重を推定した．軸箱振動加速度データより推定された動的輪重[5]を，静止輪重の違いと走行速度の違いを補正することにより最大動的輪重は457kNと算定された．

(2)　複数の分岐器通過時の軸箱振動加速度より推定

U@techで測定されたクロッシング落込みの大きい分岐器を含む21分岐器について(1)と同様の処理を行い，統計的に発生しうる最大の動的輪重を求め，（信頼区間99.7%）．473.1kNと算定された．

(3)　新連続法＋統計処理による方法

U@techで行っている新連続法では対応できない100Hz以上の周波数領域を，U@techで検測された軸箱振動加速度で補正することにより衝撃輪重を推定することとした．なお，補正は，軸箱振動加速度を1～100HzのBP処理した値（新連続法に対応）と1Hz以上のHP処理した値（衝撃荷重に対応）との関係を求め，これに静止輪重と速度の違いを補正した．その結果，動的輪重は437.2kNと算定された．

6.3　支持条件の設定

クロッシングの乗移り部は，つき固め作業が困難であるため，設計上この区間を不支持区間と扱うのが妥当であると考え，クロッシング中央を中心とした65cmの区間を不支持区間とした．

6.4　まくらぎの設計

上記の検討により決定した輪重および支持条件より2章で述べた手法を準用して発生曲げモーメントを求め，それに対しフルプレストレスとなるように断面形状およびＰＣ鋼線の配置を決定した．

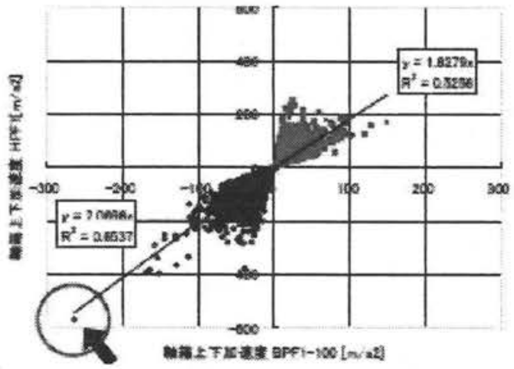

図10　周波数の違いによる軸箱振動加速度

7．まとめと課題

これまでの検討により，実用可能な分岐器用ＰＣまくらぎはほぼ完成できたものと考えている．現在，新設線を主体に導入されつつあるものの，既設線への展開を行うためには作業性向上が図られた継手タイプまくらぎの完成が必須である．本稿で示した継手タイプまくらぎは，強度的に問題ないことを確認しており，実現可能性はあるとは言うものの，長期的な耐久確認までは至っていない．

今後，この残された課題である，継手タイプまくらぎの長期的な耐久性に関する検討を行うこととしている．

参考文献

1) 吉田裕，鈴木喜也，塩見環：分岐器全体PCまくらぎ化，第11回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集，pp107-108，2004.12

2) 住吉賢治，楠田将之，山口義信：分岐器全体PCまくらぎ化に関する技術開発，鉄道力学シンポジウム，2007.7

3) 涌井一，奥田広之，井上寛美：衝撃荷重に対するPCまくらぎの限界状態設計法，鉄道総研報告，Vol10，No9，PP19-26，1996.9

4) 楠田将之，住吉賢治，山口義信：分岐器クロッシング部のPCまくらぎの設計に関する一考察，第63回土木学会年次学術講演会，2008.9

5) 須田征男，長門彰，徳岡研三，三浦重：新しい線路，社団法人日本鉄道施設協会，PP518-519